

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАМЕННОЙ КЛАДКИ

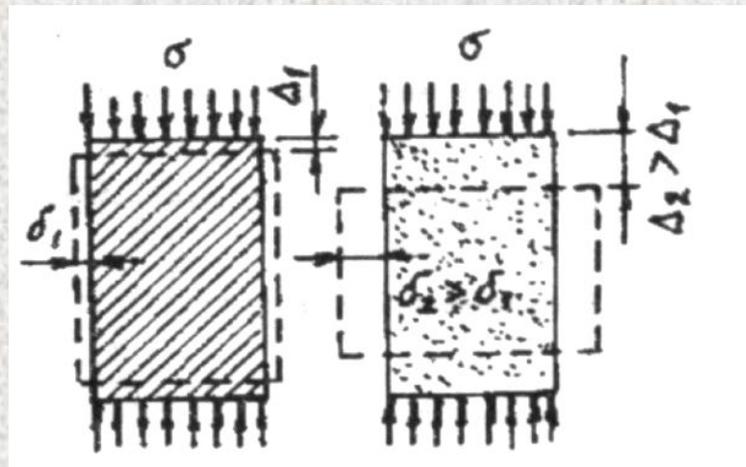
Напряженное состояние камня и раствора при центральной сжатии кладки

- При сжатии кладки осевым деформациям сжатия по направлению силы всегда сопутствуют деформации поперечного расширения.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАМЕННОЙ КЛАДКИ

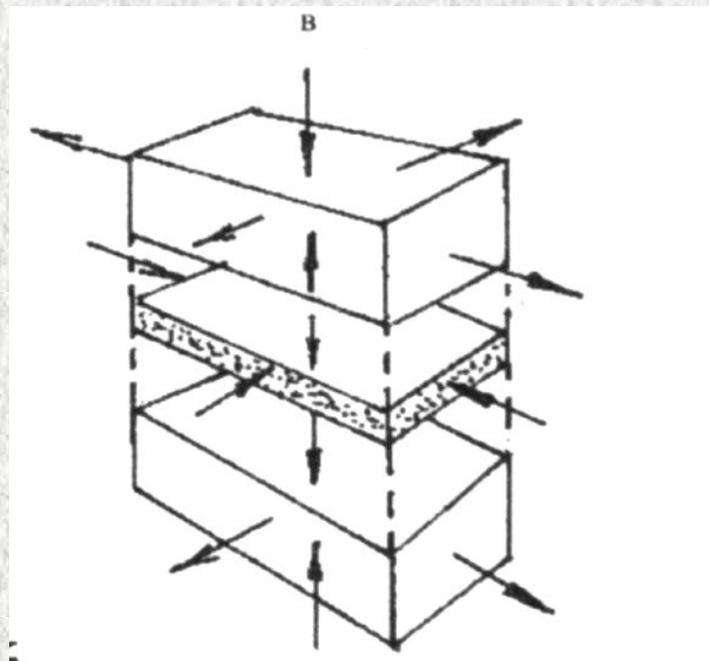
Напряженное состояние камня и раствора при центральной сжатии кладки

- При сжатии кладки осевым деформациям сжатия по направлению силы всегда сопутствуют деформации поперечного расширения.



- **Материалы кладки работают совместно.**
- **Более жесткие материалы (чаще камень) сдерживают поперечные деформации менее жестких материалов (раствор).**
- **Поэтому, более жесткие материалы (камень, кирпич) оказываются растянутыми, менее жесткие (раствор) – сжатыми.**

- Материалы кладки работают совместно.
- Более жесткие материалы (чаще камень) сдерживают поперечные деформации менее жестких материалов (раствор).
- Поэтому, более жесткие материалы (камень, кирпич) оказываются растянутыми, менее жесткие (раствор) – сжатыми.



- Растягивающие усилия в поперечном направлении, которые являются одной из главных причин разрушения кладки, особенно велики на растворах низкой прочности.
- Каменная кладка является монолитным неоднородным упругопластическим материалом.

- Камень и раствор находятся в условиях сложного напряженного состояния.
- Они одновременно подвержены внецентренному сжатию, изгибу, растяжению, срезу и смятию.

- Камень и раствор находятся в условиях сложного напряженного состояния.
- Они одновременно подвержены внецентренному сжатию, изгибу, растяжению, срезу и смятию.

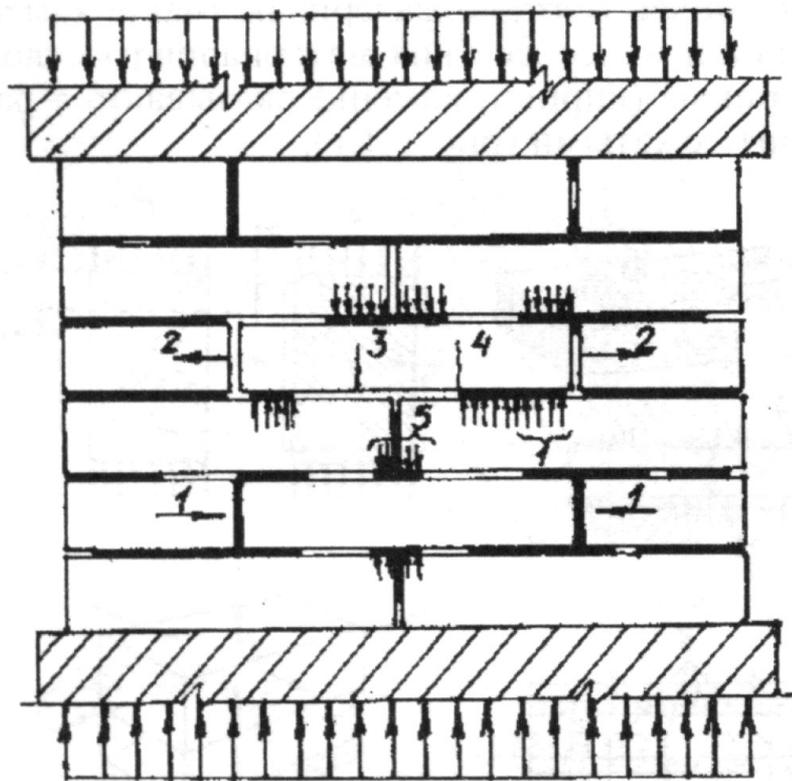
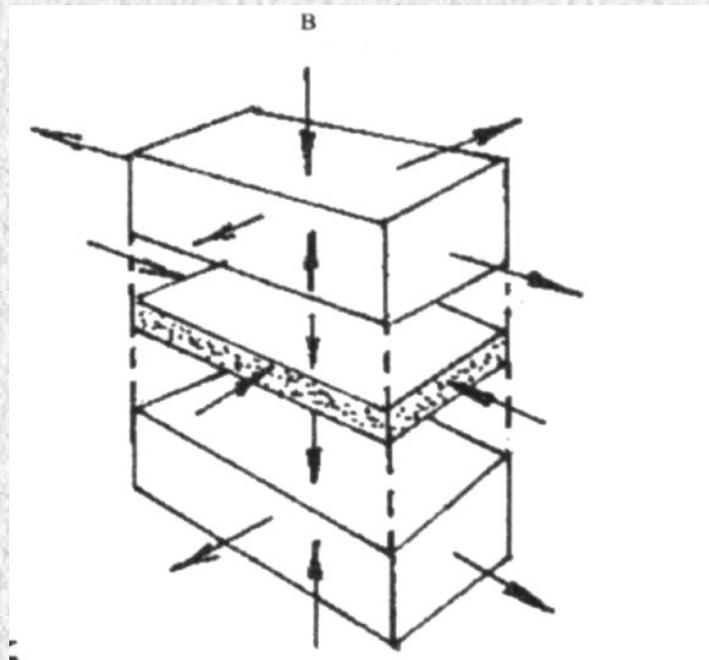


Рис. 2.2 Напряженное состояние камня в кладке: 1 – сжатие; 2 – растяжение; 3 – изгиб; 4 – срез; 5 – местное сжатие

- Причинами таких условий работы камня и раствора являются:
 - *Значительная неоднородность растворных швов.* Неоднородность раствора усугубляется неравномерностью условий твердения раствора в швах кладки и его усадки. Неравномерность растворной постели камня вызывается еще и условиями кладки и квалификацией каменщика.

- Материалы кладки работают совместно.
- Более жесткие материалы (чаще камень) сдерживают поперечные деформации менее жестких материалов (раствор).
- Поэтому, более жесткие материалы (камень, кирпич) оказываются растянутыми, менее жесткие (раствор) – сжатыми.



- *Различие деформативных свойств камня и раствора*, что приводит к развитию касательных напряжений по плоскостям контакта камня и раствора, в результате чего после преодоления сопротивления камня растяжению в нем возникает трещина.
- *Наличие пустот в вертикальных швах кладки и отверстий в пустотелых кирпичах и камнях* приводит к концентрации напряжений в зоне около этих пустот и отверстий.

- *Неоднородность камней по размерам и форме, вид перевязки швов и другие геометрические несовершенства* приводят к концентрации напряжений на выступающих частях камней и расклиниванию влияния камней друг на друга.

- *Неоднородность камней по размерам и форме, вид перевязки швов и другие геометрические несовершенства* приводят к концентрации напряжений на выступающих частях камней и расклиниванию влияния камней друг на друга.

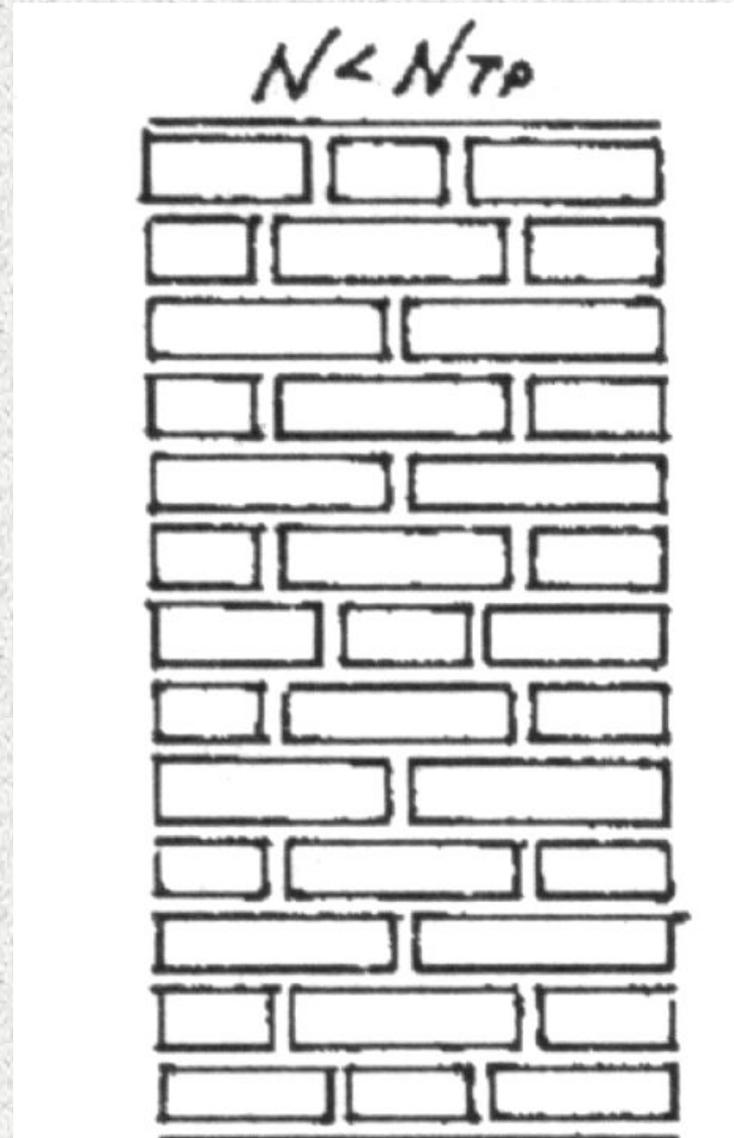


Четыре стадии работы кладки под нагрузкой при сжатии

- *Первая стадия* соответствует нормальной эксплуатации кладки.

Четыре стадии работы кладки под нагрузкой при сжатии

- *Первая стадия* соответствует нормальной эксплуатации кладки.

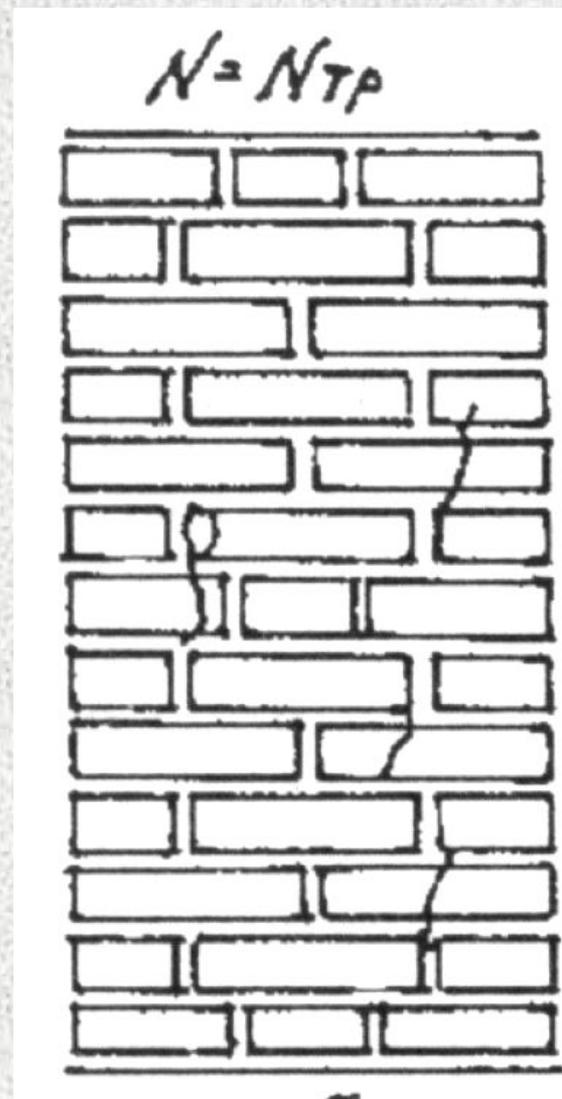


Четыре стадии работы кладки под нагрузкой при сжатии

- *Во второй стадии* появляются небольшие трещины в отдельных кирпичках. Нагрузка в этой стадии составляет **60-80%** от разрушающей и дальнейшего развития трещин при неизменной нагрузке не наблюдается.

Четыре стадии работы кладки под нагрузкой при сжатии

- **Во второй стадии** появляются небольшие трещины в отдельных кирпичах. Нагрузка в этой стадии составляет **60-80%** от разрушающей и дальнейшего развития трещин при неизменной нагрузке не наблюдается.



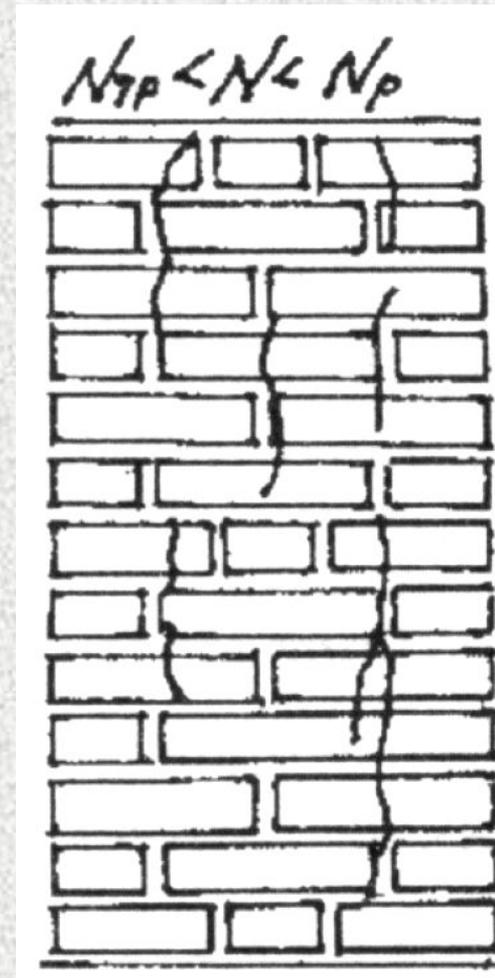
- Величина нагрузки, при которой появляются первые трещины, зависит от механических свойств кирпича, конструкции кладки и деформативных свойств раствора.
- Чем меньше деформативность раствора, тем более хрупкой оказывается кладка, т.е. тем ближе $N_{тр}$ к N_p .
- Цементные растворы более жесткие; известковые более деформативны.

- Повышение хрупкости кладки с увеличением ее возраста и при применении малодеформативных растворов должно учитываться при оценке ее запасов прочности поврежденной кладки.
- Так, если трещины появляются в кладке большого возраста изготовленной на цементном растворе, то это свидетельствует о ее перегрузке.

- Так, если трещины появляются в кладке большого возраста изготовленной на цементном растворе, то это свидетельствует о ее перегрузке.
- **В любом случае *появление первых трещин* должно рассматриваться как сигнал для установления причин их появления и, если потребуется, усиления кладки или снижению на нее нагрузок.**

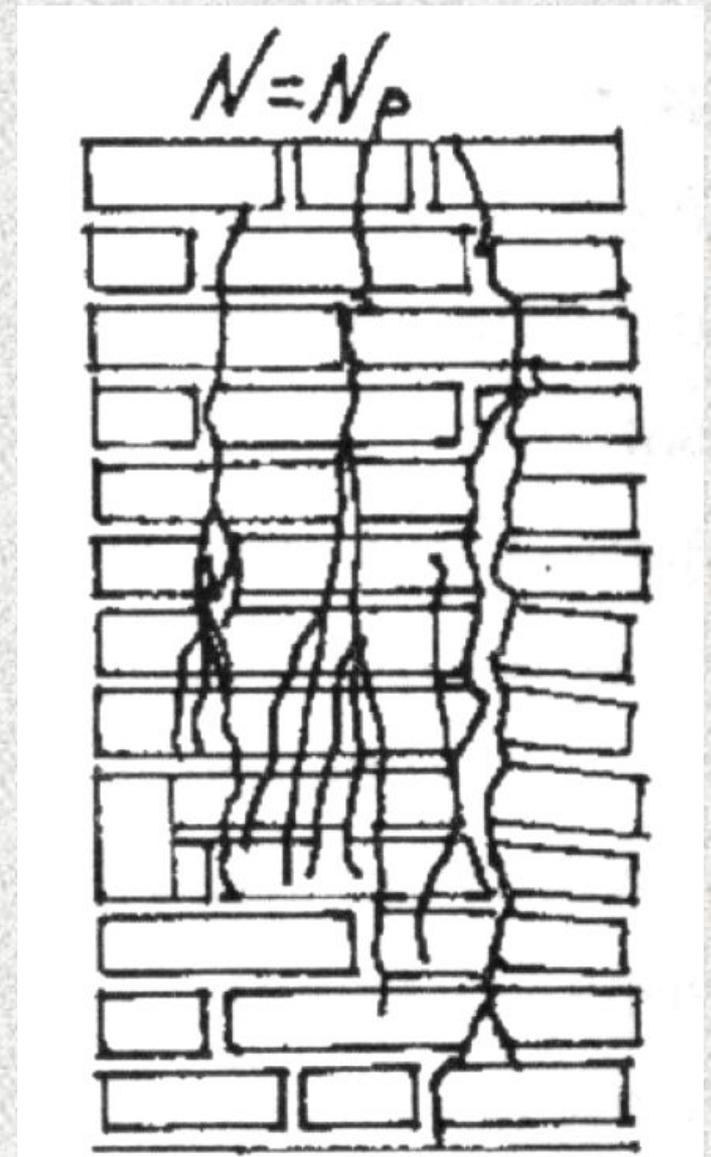
- *Третья стадия* работы кладки возникает при увеличении нагрузки после появления первых трещин, при которой происходит как их развитие, так и возникновение, и развитие новых трещин.
- Трещины соединяются между собой, пересекая значительную часть кладки в вертикальном направлении и постепенно расслаивая ее на отдельные ветви, каждая из которых находится в условиях внецентренного нагружения.

- *Третья стадия* работы кладки (рис.2.3,в) возникает при увеличении нагрузки после появления первых трещин, при которой происходит как их развитие, так и возникновение, и развитие новых трещин.
- Трещины соединяются между собой, пересекая значительную часть кладки в вертикальном направлении и постепенно расслаивая ее на отдельные ветви, каждая из которых находится в условиях внецентренного нагружения.



- *Четвертая стадия* – стадия разрушения от потери устойчивости расчлененной кладки возникает при длительном действии нагрузки третьей стадии
- В естественных условиях третья стадия является началом окончательного разрушения кладки.
- Возникшие в этой стадии сквозные трещины не стабилизируются, а продолжают развиваться и увеличиваться без увеличения нагрузки.

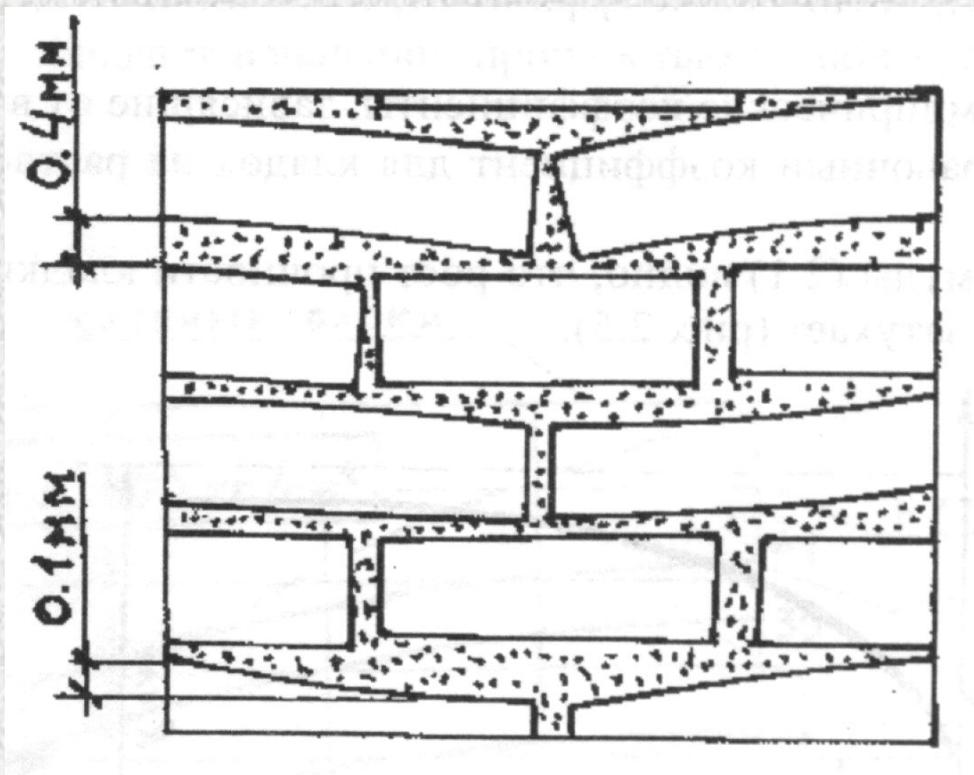
- **Четвертая стадия** – стадия разрушения от потери устойчивости расчлененной кладки возникает при длительном действии нагрузки третьей стадии
- В естественных условиях третья стадия является началом окончательного разрушения кладки.
- Возникшие в этой стадии сквозные трещины не стабилизируются, а продолжают развиваться и увеличиваться без увеличения нагрузки.



- Действительная разрушающая нагрузка составляет **80-90%** от экспериментальной разрушающей нагрузки.
- Возникновение первых трещин в кладке вызывается напряжениями изгиба и среза отдельных кирпичей при напряжениях сжатия **15-25%** от предела прочности кирпича на сжатие.

- Деформации изгиба отдельных кирпичей достигают *0,1...0,4мм*, которые при учете хрупкости кирпича являются чрезмерными.
- Причиной изгиба и среза кирпича в кладке при сжатии является неравномерная плотность раствора в швах.

- Деформации изгиба отдельных кирпичей достигают $0,1...0,4\text{мм}$, которые при учете хрупкости кирпича являются чрезмерными.
- Причиной изгиба и среза кирпича в кладке при сжатии является неравномерная плотность раствора в швах.



- Последовательность разрушения кладки, выполненной из камней других видов подобна разрушению кирпичной кладки.
- С увеличением высоты камня *увеличивается хрупкость кладки* и момент появления первых трещин приближается к моменту разрушения.

ПРОЧНОСТЬ КЛАДКИ ПРИ ЦЕНТРАЛЬНОМ СЖАТИИ

- Так как разрушение кладки всегда происходит в результате потери устойчивости гибких столбиков, образовавшихся после ее растрескивания, поэтому прочность кладки при очень прочном растворе всегда меньше прочности кирпича (камня) на сжатие.

- Теоретическая максимальная прочность кладки на растворе с пределом прочности $R_2 = \infty$ называется конструктивной прочностью кладки R^k .
- Конструктивная прочность кладки равна пределу прочности камня на сжатие R_1 , умноженному на конструктивный коэффициент $A < 1$:

$$R^k = A \cdot R_1$$

- Фактическая прочность кладки значительно меньше конструктивной. Кроме марки кирпича R_1 , на прочность кладки оказывает влияние марка раствора R_2 и вид кладки.

Прочность кладки по эмпирической формуле, предложенной проф. Л.И. Онищиком:

$$R = A \cdot R_1 \cdot \left(1 - \frac{a}{b + \frac{R_2}{2 \cdot R_1}} \right) \cdot \eta,$$

где R_1 и R_2 – соответственно пределы прочности камня и раствора (марки камня и раствора);

A – конструктивный коэффициент, зависящий от прочности камня и его вида ($A < 1$);

a и b – эмпирические коэффициенты, зависящие от вида кладки;

η – поправочный коэффициент для кладок на растворах низких марок.

Из этой формулы видно, что рост прочности кладки с увеличением марки раствора затухает (рис.2.5).

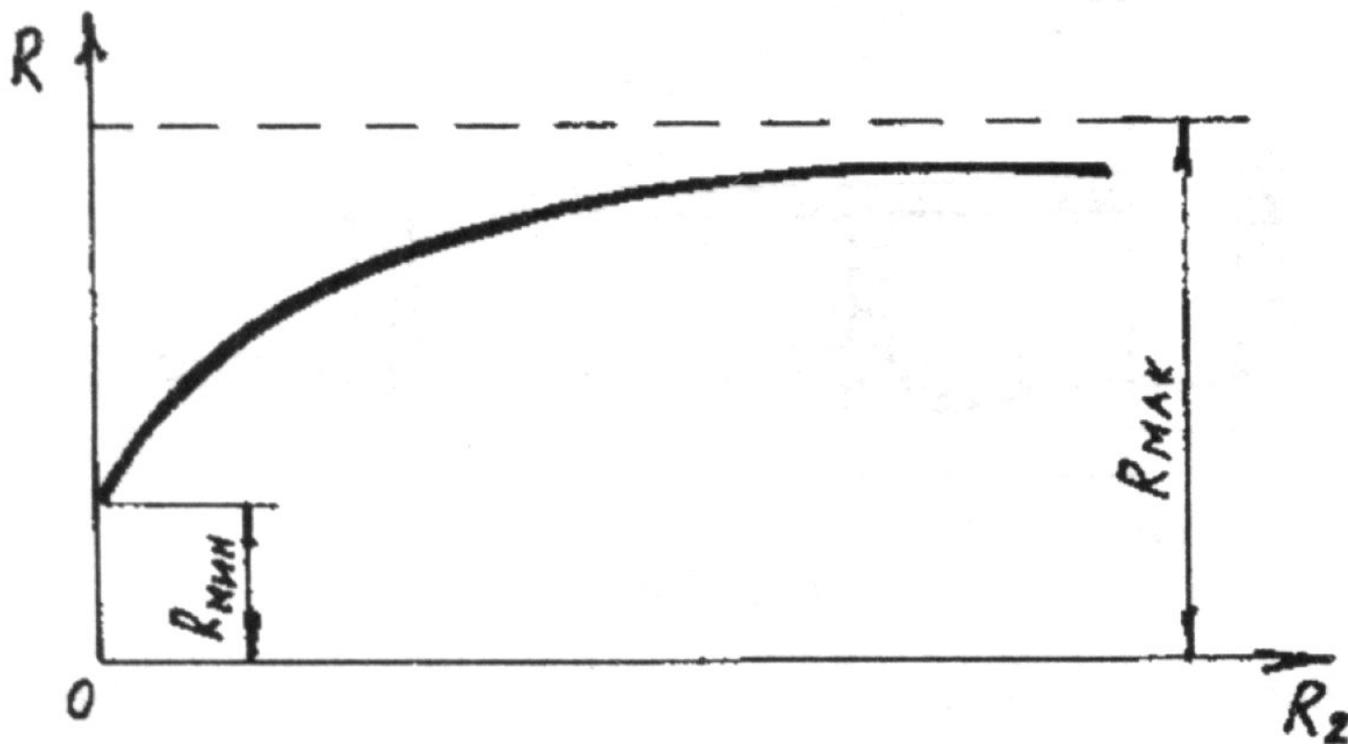


Рис. 2.5. Зависимость прочности кладки при сжатии от прочности раствора

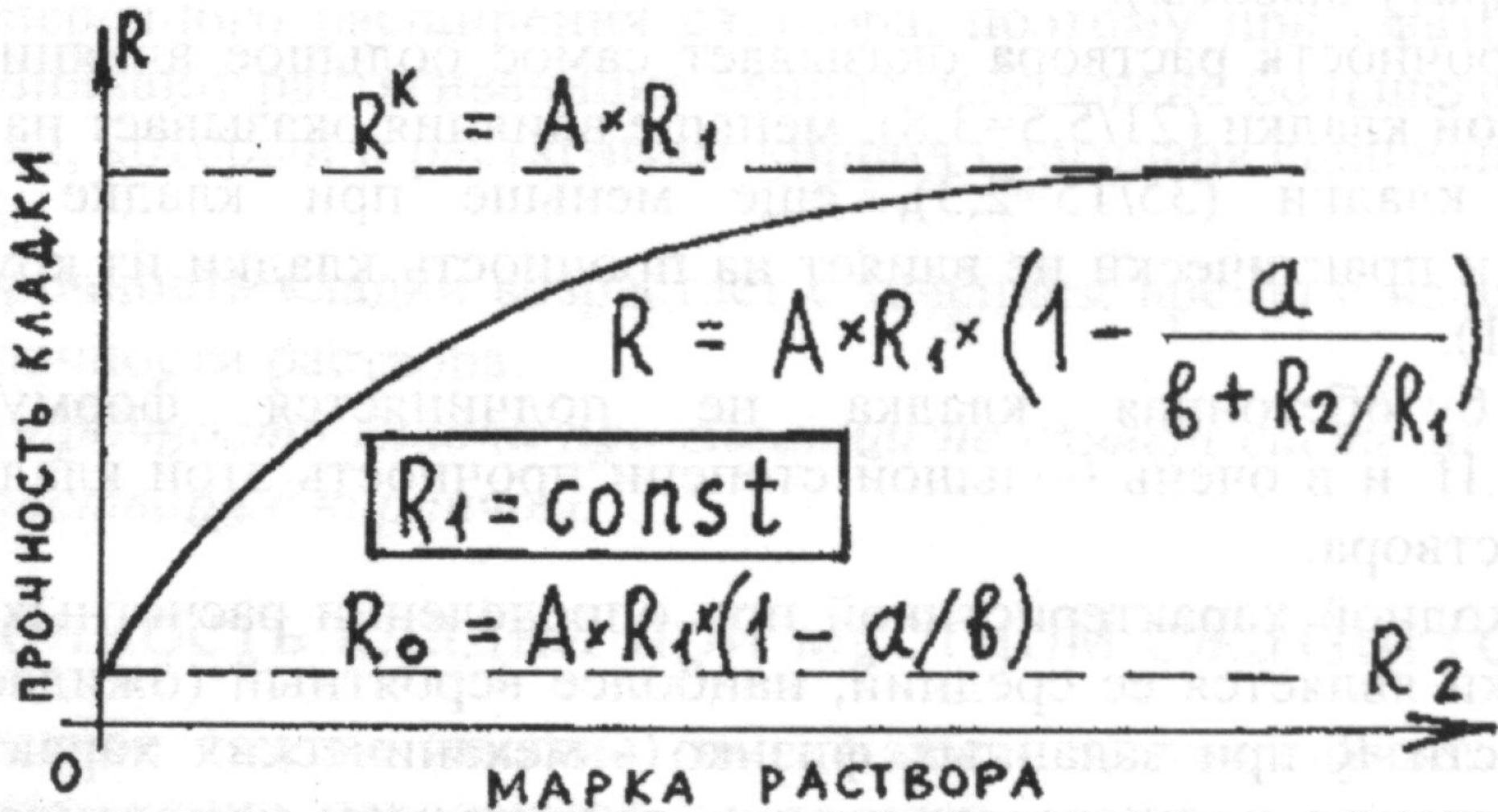


Рис. 2.6.

При $R_1 = \text{const}$ зависимость для R показана на *рис.2.1*.
Если $R_2 = 0$, то

$$R_0 = A \cdot R_1 \cdot \left(1 - \frac{a}{b}\right); \quad \frac{a}{b} < 1,$$

где R_0 – прочность кладки на свежесуложенном растворе.

Если $R_2 = \infty$, то $R = A \cdot R_1$, где $A < 1$, т.е. меньше R_1 .

- Из графика (*рис.2.6*) следует:
 - Во-первых, кладка обладает начальной прочностью R_0 даже при нулевой прочности раствора;
 - Во-вторых, даже при самых прочных растворах прочность камня используется не полностью (*10-30%*), т.к. $A < 1$.
- Поэтому применение для обычных кладок растворов высоких марок (*более 75*) неэкономично.

На рис.2.7 показаны графики зависимости прочности разных кладок при прочности камня $R_1 = 100 \text{ кг/см}^2$ (марка камня 100).

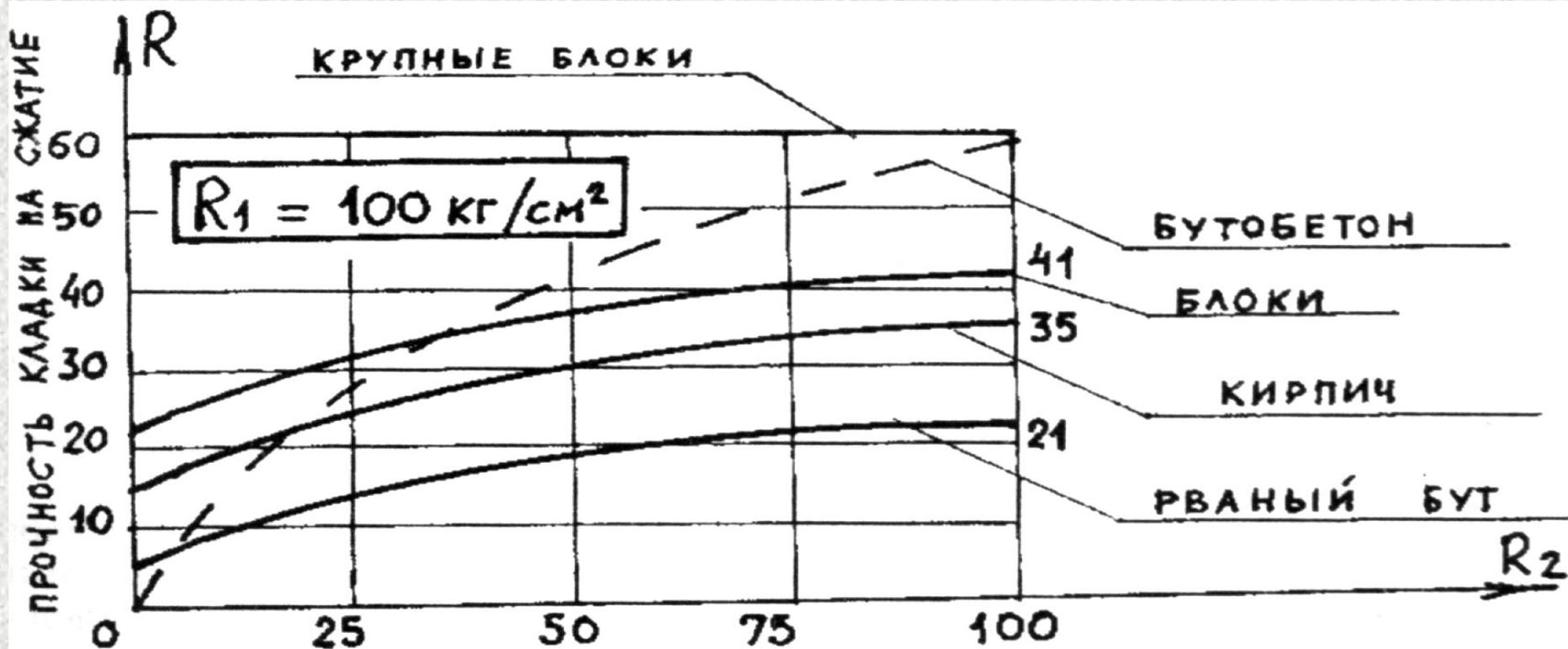


Рис. 2.7.

- Выводы из графика на рис. 2.7:
 - Прочность кладки меньше всего используется в бутовой кладке из-за неровности постели рваного бута;
 - Прочность кладки из камней правильной формы возрастает с увеличением высоты камня (возрастает сопротивление камня изгибу, т.к. момент сопротивления возрастает пропорционально квадрату высоты);

- Прочность раствора оказывает самое большое влияние на прочность бутовой кладки ($21/5,5=3,8$), меньше на прочность кирпичной кладки ($35/15=2,3$), еще меньше на кладку из блоков ($41/24=1,7$) и практически не влияет на кладку из крупных блоков ($60/60=1$).
- Прочность бутобетонной кладки в очень большой степени зависит от марки раствора.

- Расчетное сопротивление кладки R определяется делением среднего (ожидаемого) предела прочности кладки R_u на коэффициент безопасности, учитывающий статистические и др. факторы, которые могут вызвать неблагоприятные отклонения прочности кладки, т.е.

$$R = \frac{R_u}{k}$$

- Разрушение кирпича в кладке от сжатия происходит только в последней стадии после расслоения кладки на столбики вследствие перегрузки отдельных столбиков и кирпичей.

- Экспериментально установленные факторы, влияющие на прочность кладки при сжатии:
 - прочность кладки зависит от марки камня и марки раствора, но прочность кирпича на сжатие используется незначительно. С увеличением прочности кирпича и раствора прочность кладки возрастает до определенного предела;

– при сжатии отдельные кирпичи в кладке работают на изгиб и срез, поэтому марка кирпича устанавливается из его прочности на сжатие и изгиб. Изгиб и срез отдельных кирпичей происходит вследствие неравномерной плотности раствора в шве; в бóльшей степени это проявляется при слабых растворах;

- на прочность кладки влияют форма поверхности кирпича и толщина шва: чем ровнее кирпич и тоньше шов, тем прочнее кладка;
- на прочность кладки влияют размер сечения кладки (толщина стены): при уменьшении размеров сечения кладки ее прочность возрастает (отчасти из-за уменьшения количества швов);

— на прочность кладки влияет различие деформативных свойств кирпича и раствора. Поперечное расширение кирпича при сжатии в 10 раз меньше поперечного расширения раствора, поэтому при сжатии кладки в кирпиче возникают растягивающие усилия в результате бóльшего удлинения раствора шва, который и растягивает кирпич из-за сцепления кирпича с раствором;

— прочность кладки возрастает с течением времени вследствие возрастания прочности раствора.

Деформативность каменной кладки

- Деформации в каменной кладке:
 - Объемные во всех направлениях, вследствие усадки раствора и камня или от изменения температуры;
 - Силовые, развивающиеся, главным образом, вдоль направления действия сил.

- Усадочные деформации кладки ε_{st} зависят от материала кладки. Для бетонных камней и силикатного кирпича $\varepsilon_{st} = 3 \cdot 10^{-4}$, а для глиняного кирпича усадку можно не учитывать в виду ее малости.

- Температурные деформации кладки также зависят от материала кладки. Для глиняного кирпича $\alpha_t = 0,5 \cdot 10^{-5}$, а для силикатного кирпича и бетонных камней $\alpha_t = 1 \cdot 10^{-5}$.

- Каменная кладка является упругопластическим материалом.

- Полные деформации кладки:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{\varepsilon}_{el} + \boldsymbol{\varepsilon}_{pl}$$

- Силовые деформации будут зависеть от характера приложения нагрузки и могут быть 3 видов:
 - Деформации при однократном загрузении кратковременной нагрузкой;
 - Деформации при длительном действии нагрузки;
 - Деформации при многократно повторных нагрузках.

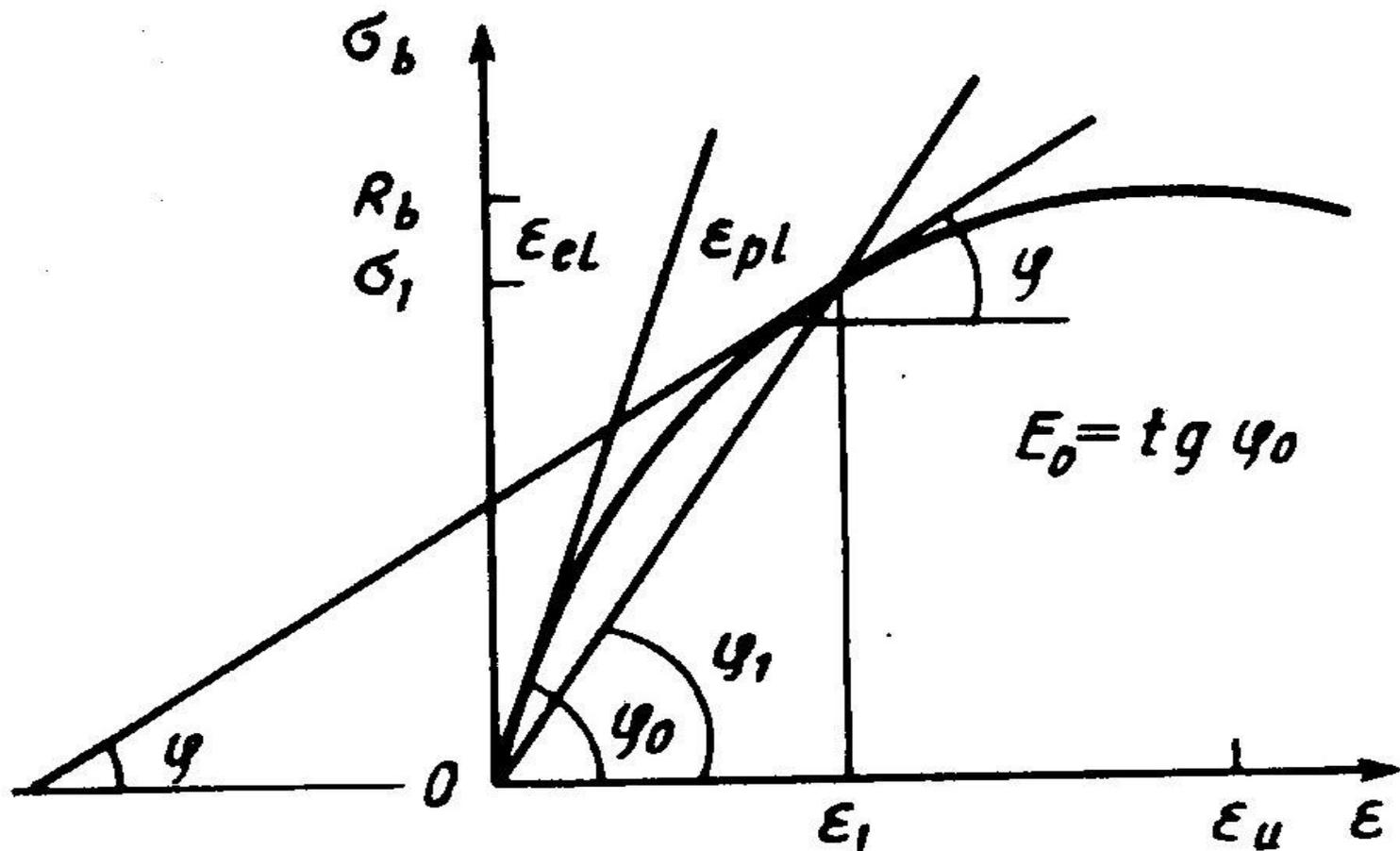


Рис. 11.6. Зависимость «напряже-
ние — деформация» кирпичной кладки
при сжатии

- Значения модуля упругости пропорциональны временному сопротивлению кладки:

$$E_0 = \alpha \cdot R_u,$$

где α – характеристика упругих свойств кладки, зависящая от вида кладки и марки раствора

- Значения модуля упругости для кладки с продольным армированием пропорциональны временному сопротивлению кладки армированной кладки :

$$E_0 = \alpha \cdot R_{sku}, \quad R_{sku} = kR + \frac{R_{sn}\mu}{100}; \quad \mu = \frac{A_s}{A_k} 100;$$

где α – характеристика упругих свойств кладки, зависящая от вида кладки и марки раствора;

- Упругая характеристика кладки с сетчатым армированием:

$$\alpha_{sk} = \alpha \frac{R_u}{R_{sku}}, \quad R_{sku} = kR + \frac{2R_{sn}\mu}{100},$$

где α – характеристика упругих свойств кладки, зависящая от вида кладки и марки раствора;

$k = 2,0$ – для кладки из кирпича всех видов, из крупных блоков, рваного бута и бутобетона, кирпичная вибрированная